

---

*Büttner, J.; Gens, Wolfgang :*

***A feszültséginverterek kommutálóképességének javítása a  
kommutálókondenzátor vezérelt utántöltésével***

---

*Zuerst erschienen in:*

Elektrotechnika / a Magyar Elektrotechnikai Egyesület. -

Budapest : Lapkiadó Vállalat, ISSN 0367-0708, 76. Jg. (1983), H. 5-6, S. 189 - 192

# A feszültséginverterek kommutálóképességének javítása a kommutálókondenzátor vezérelt utántöltésével\*

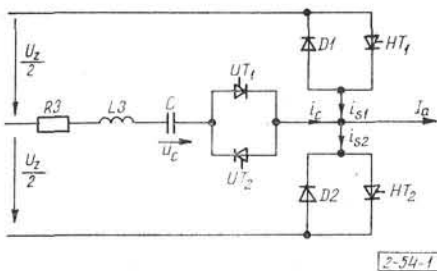
J. BÜTTNER – W. GENS, Ilmenau\*\*

A kényszerkommutációs feszültséginverterek bemeneti vagy közbensőkori  $U_z$  feszültsége vezérlési, illetve zavarűrés okból nem állandó. A kommutálókondenzátort  $U_z$ -től függetlenül általában külön, egyenfeszültségű tápforrásból töltik fel. Így a közbensőkori feszültség változása esetén is kifogástalanul kommutálni lehet a legnagyobb terhelőáramot.

Ha kommutáció közben a főirisztor gyújtásának időpontját megfelelően vezéreljük, akkor a legnagyobb terhelőáramot csökkentett közbensőkori feszültségen is lehet kommutálni járulékos segéd-feszültség nélkül [1].

A váltóirányító működéséből kiindulva meghatározták, hogy csökkentett közbensőkori feszültségen hogyan kell elméletileg meghatározni a gyújtás időpontját. Az elméletileg kapott eredményeket összehasonlították a gyakorlati mérések eredményeivel. Megvizsgálták továbbá azt is, hogy a közbensőkori feszültség változásának sebessége milyen hatással van a gyújtási időpontok meghatározására és milyen elméleti eredményekre számíthatnak.

Az áttekinthetőség érdekében az inverter kommutációja alatt lejátszódó folyamatokat egy fázisra tárgyaljuk (1. ábra). A másik két fázisban a folyamatok természetesen azonosan játszódnak le.



1. ábra. Az inverter egy fázisának főáramköri vázlata

Tételezzük fel a következőket:

- a félvezetők ideálisak;
- a rezgőkörök véges jóságából adódó veszteségeket az  $R3$  ellenállással vesszük figyelembe;
- kommutáció közben az  $I_a$  terhelőáram állandó, hiszen a kommutálókör saját frekvenciája lényegesen nagyobb a terhelőkör frekvenciájánál.

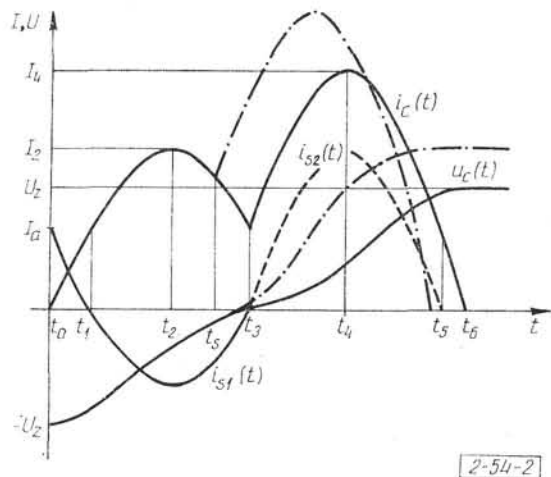
\* A Budapesten, 1981. október 19–24. között megrendezett 4. Erőáramú Elektronika Konferencián elhangzott előadás.

\*\* J. BÜTTNER és W. GENS a Technische Hochschule Ilmenau Elektrotechnikai Tanszékének oktatói (Ilmenau, NDK).

## 1. Az inverter kommutációja alatt lejátszódó folyamatok

Az inverter működésének magyarázatakor tételezzük fel, hogy a HT1 főirisztor vezet és a C kommutálókondenzátor  $u_c = -U_z$  feszültségre töltődik fel (2. ábra). HT1 oltásakor az UT1, C, L3, R3,  $U_z/2$  és HT1 alkotta rezgőkörben az (1) egyenlet szerinti szinuszos  $i_{s1}(t)$  áram alakul ki, amely DI-en záródik, ha  $i_{s1}$  negatív.

$$i_{s1} = I_a - \left( \frac{U_z}{2} - U_{c0} \right) \frac{\omega_0}{\omega} \sqrt{\frac{C}{L3}} e^{-\delta t} \sin \omega t. \quad (1)$$



2. ábra. A kommutáció alatt lejátszódó jellegzetes időfüggvények

A képletben  $U_{c0}$  az  $U_c$  kondenzátorfeszültség kezdeti értéke,  $\omega_0$  az oltókör saját frekvenciája:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L3C}}. \quad (2)$$

HT2 főirisztor a  $t=t_s$  időpontban gyújtva, az UT1, C, L3, R3,  $U_z/2$  és HT2 alkotta rezgőkörben az  $i_{s2}(t)$  szinuszos áram alakul ki:

$$i_{s2} = I_b e^{-\delta t} \left( \cos \omega t - \frac{\delta}{\omega} \sin \omega t \right) + \left( \frac{U_z}{2} - U_{cs} \right) \frac{\omega_0}{\omega} \sqrt{\frac{C}{L3}} e^{-\delta t} \sin \omega t - I_a, \quad (3)$$

ahol

$$\delta = \frac{R3}{L3} \quad \text{és} \quad U_{cs} = U_c(t_s).$$

Ha az  $i_c$  áram az UT1 tirisztor tartóárama alá csökken, a tirisztor kialszik és ezzel a kommutáció befejeződik. A terhelőáram HT1-ről D2-re kommutál, a kommutálókondenzátor feszültsége pedig átrendül. Így a HT2 főtirisztor következő oltásához a feltételek kialakulnak.

A következő tirisztor gyújtásának  $t_s$  időpontját a  $t_2 \leq t_s \leq t_3$  tartományban változtatva, az  $U_c(t_0)$  feszültség végértéke befolyásolható (az ábrán szaggatott vonallal jelöltük). E vezérlési módszerrel csökkenő közbensőkori feszültség ( $U_z < U_{zn}$ ) mellett is a legnagyobb  $I_a$  terhelőáramot, illetve állandó közbensőkori feszültségen nagyobb terhelőáramot ( $I_a > I_{a\text{ megeng}}$ ) lehet kommutálni.

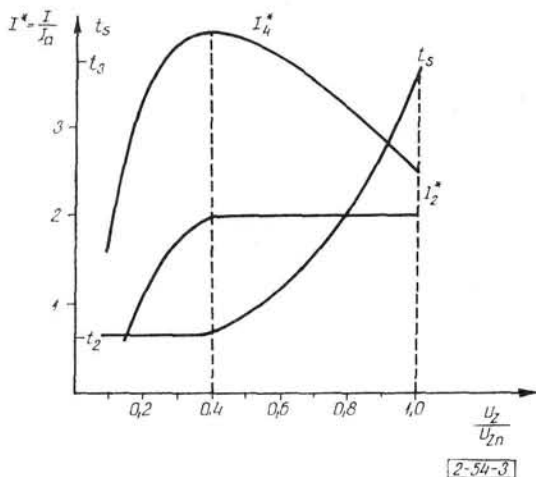
## 2. A gyújtási időpont meghatározása kvázifolyamatos közbensőkori feszültség esetén

Hogy a főtirisztorok kíméleti idejét biztosíthassuk, oltáskor az  $i_c$  áramnak az  $I_2$  csúcserőértéket el kell érnie. Ehhez az oltás keretén belül a kondenzátornak  $U_{ce} = u_c(t_0)$  feszültséggel kell rendelkeznie. Azt a  $t_s$  gyújtási időpontot, amelyenél a szükséges  $U_{ce}$  kezdeti érték kialakul, csak iterációval, az inverter kvázistacionárius állapotában lehet meghatározni.

A kvázistacionárius állapot feltétele a következő:

$$|u_c(t_0)|_{n-1} - |u_c(t_0)|_n < \varepsilon. \quad (4)$$

A következő tirisztorgyújtás  $t_s$  időpontjának és a kondenzátor  $I_2^*$  és  $I_4^*$  csúcserőáramainak alakulását a 3. ábrán láthatjuk a kommutálókör egy jellemző hullámellenállására a közbensőkori feszültség függvényében.



3. ábra. Az áram viszonylagos  $I_2^*$  és  $I_4^*$  csúcserőértékei és a megfelelő  $t_s$  gyújtási időpont csökkentett közbensőkori feszültség függvényében

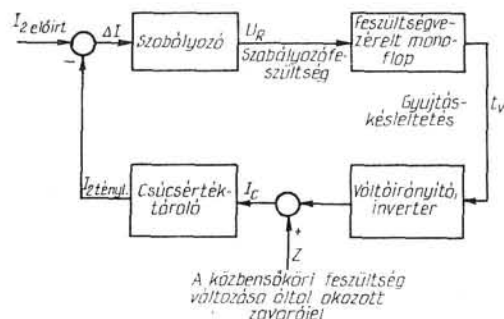
Láthatjuk, hogy a legnagyobb  $I_b$  áram kommutációjához szükséges  $I_2^*$  áramcsúcserőértéket állandó értéken lehet tartani  $0,4 U_{zn} \leq U_z \leq U_{zn}$  közötti közbensőkori feszültség mellett, ha a gyújtás időpontját a  $t_2 \leq t_s \leq t_3$  tartományban változtatjuk. Ha

$U_z < 0,4 U_{zn}$ , akkor a kapcsolás kommutációképesége nem tökéletes, mivel a kondenzátor  $I_2$  csúcserőárama nem elegendő ahhoz, hogy a legnagyobb  $I_a$  terhelőáramon a HT1 és HT2 főtirisztorok kíméleti ideje betartható legyen. A megengedhető legkisebb  $U_{z\min}$  közbensőkori feszültség nagymértékben függ az oltókör hullámellenállásától. Megválasztásától függően

$$U_{z\min} = (0,3 \dots 0,7) U_{zn}$$

lehet.

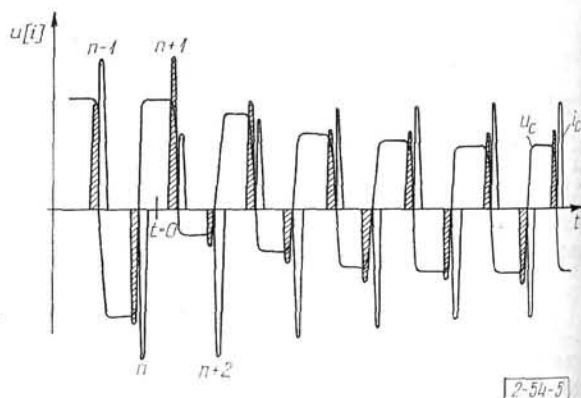
Megépítették és kipróbálták a kísérleti, gyújtásvezérléssel ellátott váltóirányítót. A szabályozókör blokkvázlatát a 4. ábrán láthatjuk. Ez a  $t_s$  gyújtási időpontot úgy változtatja, hogy kvázistacionárius üzemben, ha az  $U_z$  a megengedett tartományban ingadozik, akkor  $I_2$  állandó marad.



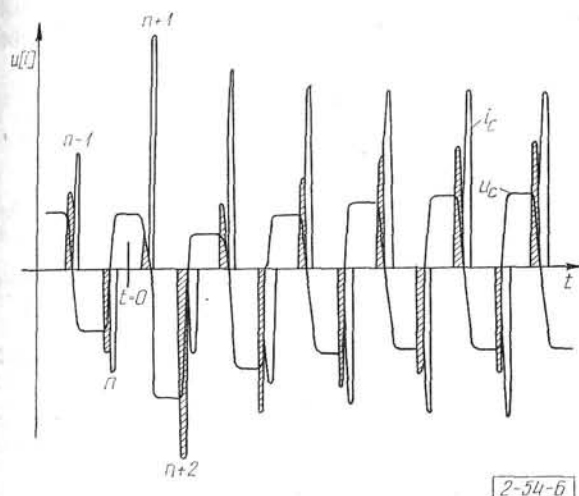
4. ábra. A gyújtás  $t_s$  időpontját szabályozó kör blokkvázlata változó közbensőkori feszültség mellett

A szabályozókör méretezését nehezíti, hogy a váltóirányító holtideje nagy hatással van a dinamikus viszonyokra, továbbá, hogy a holtidő és a körerősítés erősen munkapontfüggő.

A mérési eredmények igazolták, hogy a gyújtásvezérlés az előírt  $0,4 U_{zn} \leq U_z \leq U_{zn}$  tartományban hatásosan működik. A mérések azt mutatták, hogy a közbensőkori feszültség megengedhető változási sebességét a szabályozókör dinamikája korlátozza. A következőkben ezzel a korlátozás-kiküszöböléssel foglalkozunk.



5. ábra. A kondenzátor feszültségének és áramának minőségi változása, ha a gyújtás időpontja rögzített és  $U_2$ -t  $t = 0$ -ban  $U_{zn}$ -ról ugrásszerűen  $U_2 = 0,7 U_{zn}$ -re csökkentjük



6. ábra. A kondenzátor  $i_c$  áramának és  $u_c$  feszültségének minőségi változása, ha a gyújtás időpontja rögzített és  $U_z$ -t  $t = 0$ -ban  $U_z = 0,7 U_{zn}$ -ről ugrásszerűen  $U_{zn}$ -re növeljük.

### 3. Gyújtás- (időpont-) vezérlés gyorsan változó közbensőkori feszültségekre

A dinamikus szempontból is kiváló gyújtásvezérlés alapjául a váltóirányítóban a közbensőkori feszültség szinuszos változtatásakor lejátszódó kiegyenlítőési folyamatok szolgálnak.

Az 5. és 6. ábrán a kondenzátor feszültségének és csúcsáramának időfüggvényét láthatjuk a gyújtás időpontjának változtatása nélkül. Ha a közbensőkori feszültség csökken, az áramcsúcsértékek állandósult értéke is kisebb lesz. Az átmeneti folyamatot lényegében a kommutáló rezgőkör jósága határozza meg.

#### 3.1 A közbensőkori feszültség csökkentése

Az  $U_z$  közbensőkori feszültséget a  $t=0$  időpontban csökkentve a változást követő  $(n+1)$ -edik oltóimpulzus nagyobb, az  $(n+2)$ -edik oltóimpulzus pedig kisebb a szükségesnél (5. ábra). Így időnként csökken a kommutálóképesség. Ezt a gyorsan csökkenő közbensőkori feszültség ellenére is fenn lehet tartani, ha kommutáció közben a  $(t_s)_n$  nyújtási időpontot a kondenzátor  $(I_2)_n$  csúcsáramának függvényében változtatjuk úgy, hogy az  $(n+1)$ -edik kommutációnál  $(I_2)_{n+1} = I_{2\text{előírt}}$  teljesüljön, amennyiben a szabályozási tartomány lehetővé teszi. A

$$(t_s)_{n+1} = f(I_{2n}, I_{2\text{előírt}})$$

összefüggés vezérlési jellegzőgörbéként ábrázolható.

#### 3.2 A közbensőkori feszültség növelése

A közbensőkori feszültség hosszú vagy rövid csökkenését követő feszültségnövekedés következtében a feszültségmódosítást követő első oltóimpulzus kisebb lesz a szükségesnél. Ezen oltóimpulzus amplitúdóját a közbensőkori feszültség abszolútértékének változása határozza meg.

A kommutálóképesség így nem biztosítható, még a vezérlés módosításával sem. Ezért a közbensőkori feszültség  $\Delta U$  növelésének mértékét a két kommutáció közötti időben a kommutálóképesség fenntartása érdekében az (5) egyenlet szerint kell korlátozni.

$$\Delta U = \left(1 - \frac{I_k}{I_a}\right) U_z, \quad (5)$$

ahol

$\Delta U$  a közbensőkori feszültség megengedett növekedése két kommutáció között;

$I_k$  a kommutálandó áram;

$I_a$  a legnagyobb kommutálható áram.

A közbensőkori feszültség megengedhető  $dU_z/dt$  növekedési sebességét a (6) egyenlet szerint, a következőképpen kaphatjuk:

$$\frac{dU_z}{dt} = 2 \Delta U f_p, \quad (6)$$

ahol

$f_p$  az inverter frekvenciája.

#### 3.3 A gyújtási időpont vezérlése a kommutálóképesség csökkenése nélkül

Ha az inverter terhelési viszonyai következtében a kommutálóképesség rövid idejű csökkenése sem engedhető meg, akkor a  $t_s$  gyújtási időpontot adaptív módon kell szabályozni úgy, hogy a kommutálókondenzátor  $u_c$  feszültsége az  $U_z$  csökkenése ellenére is mindig az  $U_{ce} = U_{zn}$  névleges értéken maradjon.

Ezzel a fogással az inverter szükséges kommutálóképessége a gyújtási időpont vezérléséhez képest korlátozott,  $0,65 U_{zn} \leq U_z \leq U_{zn}$  tartományban biztosítható. Hátrány, hogy az oltókori elemek (UT1, UT2, L3, C) áramterhelése a feszültségcsökkenés mértékétől függően 35%-kal is megnövekedhet. Ezeket a tényeket, valamint azt az időt, amely alatt az inverternek csökkentett közbensőkori feszültséggel kell üzemelnie, az alkatrészek méretezésekor figyelembe kell venni.

### Összefoglalás

A feszültséginverter főtirisztoraira a gyújtási időpont vezérlésének megvizsgált változataival lehetséges az invertert csökkentett közbensőkori feszültséggel is üzemeltetni, a megadott korlátok között.

Alapvető fontosságú annak eldöntése, hogy a kommutálóképesség csökkenése megengedhető-e vagy sem.

Olyan alkalmazási esetekben, amikor az inverter kommutálóképességének csökkenése csökkentett közbensőkori feszültség esetén nem engedhető meg, a főtirisztorok gyújtási időpontját adaptív módon a közbensőkori feszültség függvényében egy előírt vezérlési jellegzőgörbe szerint kell szabályozni úgy, hogy a kommutálókondenzátor feszültsége mindig névleges értékű legyen. E változat hátránya a közbensőkori feszültség megengedett feszültség-ingadozási tartományának csökkenése, illetve az oltókori elemek növekvő áramterhelése.

Ha a kommutálóképesség rövid idejű csökkenése megengedhető, akkor ezek a hátrányok kiküszöbölhetők, és az inverter is olcsóbb lesz. A főtirisztorok gyújtási időpontját ekkor úgy kell vezérelni, hogy a kommutáló áramot létrehozó feszültség állandó maradjon. Ilyenkor a közbensőköri feszültség teljes ingadozási tartománya megengedett, és az oltóköri alkatrészek áramterhelése sem növekszik.

A gyújtási időpont szabályozása a közbensőköri feszültség kvázifolyamatos változása, illetve stacionárius üzemmód esetén megfelelő hatású, ugyan-

akkor azonban a közbensőköri feszültség gyors változása utáni első kommutáció segítségével nem befolyásolható.

#### IRODALOM

- [1] BRENNEISEN, J.—SCHÖNUNG, A.: BRD Offenlegungsschrift 2158663: Selbstgeführter Wechselrichter. Int. dl. HO2p 13/18.
- [2] MCMURRAY, W.: BRD Offenlegungsschrift 1438446: Wechselrichterschaltung. Deutsche Kl. 21 d2 12/03.